

## PENGARUH KEHILANGAN ALIRAN PENDINGIN SEKUNDER TERHADAP PARAMETER TERMOHIDROLIK TERAS REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG

Reinaldy Nazar

PTNBR – BATAN, Jl. Tamansari No. 71, Bandung, 40132  
Email: reinazar@telkom.net

### ABSTRAK.

**PENGARUH KEHILANGAN ALIRAN PENDINGIN SEKUNDER TERHADAP PARAMETER TERMOHIDROLIK TERAS REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG.** Untuk mendapatkan informasi lengkap tentang kondisi kegagalan sistem pendingin sekunder, telah dilakukan simulasi kejadian kehilangan aliran pendingin sekunder reaktor TRIGA 2000 Bandung ketika beroperasi pada daya 2000 kW, menggunakan program komputer RELAP5/MOD3.2. Pada penelitian ini teras reaktor TRIGA 2000 Bandung dimodelkan dalam bentuk teras tujuh kanal. Dalam simulasi ini diasumsikan bahwa motor penggerak pompa sekunder kehilangan catu daya, sehingga gagal berfungsi. Hasil perhitungan dalam kondisi tunak diperoleh awal kondisi tunak tercapai setelah 2500 detik dari sejak reaktor mulai beroperasi pada daya 2000 kW, suhu kelongsong kanal terpanas adalah 150,63°C, suhu pendingin keluar kanal terpanas adalah 111,36°C, suhu masuk reaktor 35,52°C, dan suhu keluar reaktor 45,75°C. Hasil perhitungan transien memperlihatkan, sebelum terjadi scram suhu kelongsong kanal terpanas 159,78°C dan suhu pendingin keluar kanal terpanas 115,86°C. Setelah terjadi scram yaitu 150 detik setelah kegagalan pompa sekunder suhu pendingin keluar dan suhu pendingin masuk reaktor terus mengalami kenaikan hingga mencapai 53,15°C yang berasal dari panas sisa peluruhan.

**Kata kunci:** Reaktor TRIGA 2000 Bandung, kehilangan aliran pendingin sekunder, model teras tujuh kanal

### ABSTRACT.

**THE INFLUENCE OF LOSS OF SECONDARY COOLANT FLOW TO THERMOHYDRAULIC PARAMETER OF BANDUNG TRIGA 2000 REACTOR CORE.** To get complete information about condition of failure of secondary cooling system, the simulation of loss of secondary coolant flow of Bandung TRIGA 2000 reactor under the operation of 2000 kW power has been done, by applying computer program RELAP5/MOD3.2. At this research, core of Bandung TRIGA 2000 reactor is modeled in the form of seven channels core. On this simulation was assumed that secondary pump actuator got loss of power, so failed in function. The result of calculation in condition of steady state indicated that the initial condition of steady state was reached 2500 seconds after reactor started operation on 2000 kW power, the hottest channel cladding temperature was 150,63°C, the hottest channel coolant outlet temperature was 111,36°C, reactor inlet temperature was 35,52°C, and reactor outlet temperature was 45,75°C. The result of calculation in transient condition showed that before scram occurred, the hottest channel cladding temperature was 159,78°C and the hottest channel coolant outlet temperature was 115,86°C. After scram occurred, that was 150 seconds after failure of secondary pump, reactor inlet and reactor outlet temperature were always increasing to 53,15°C due to the heat of fission product.

**Key words:** Bandung TRIGA 2000 reactor, loss of secondary coolant flow, the form of channels seven core

## 1. PENDAHULUAN

Penelitian tentang keselamatan reaktor TRIGA 2000 Bandung berkembang sejalan dengan persyaratan keselamatan yang dituntut oleh masyarakat maupun persyaratan yang diminta oleh BAPETEN sebagai pihak regulator pemberi izin pengoperasian reaktor.

Salah satu aspek yang berkaitan dengan masalah keselamatan reaktor nuklir adalah analisis termohidrolik pada teras yang mampu memberikan prediksi karakteristik pada berbagai kondisi operasinya. Termasuk pada saat kecelakaan operasi, misalnya ketika reaktor kehilangan aliran air pendingin sekunder, karena pompa sistem sekunder kehilangan catu daya listriknya sedangkan sistem pendingin primer tetap beroperasi. Tidak berfungsinya sistem pendingin sekunder menyebabkan suhu keluar alat penukar panas pada bagian sisi primer tetap tinggi seperti suhu masukannya. Suhu keluaran ini akhirnya akan menaikkan suhu pendingin primer di tangki reaktor, termasuk suhu masuk ke teras reaktor. Kenaikan suhu masukan ke teras reaktor ini akan mempengaruhi pembuangan panas dari teras tsb.

Pada reaktor TRIGA 2000 Bandung, suhu kolam pencampuran atau suhu keluaran tangki reaktor dipantau dengan alat ukur yang digabungkan dengan sistem proteksi reaktor. Dalam hal transien terproteksi, jika suhu yang dipantau melebihi suatu batas yang telah ditentukan, maka sistem proteksi mengeluarkan sinyal *trip* yang kemudian membuat reaktor *scram*.

Pada penelitian ini dilakukan analisis transien kehilangan aliran air pendingin sekunder terproteksi menggunakan paket program computer RELAP5/MOD3.2 [1,2], dimana teras reaktor dimodelkan dengan 7 pipe yang merepresentasikan 7 kanal, yaitu 1 kanal dingin dan 6 kanal panas. Kanal 1 (kanal dingin) mewakili daerah yang di dalamnya tidak terjadi pembangkitan panas, seperti posisi ring A (*central timble*) tanpa bahan bakar, grid yang berisi grafit (*dummy*), grid yang berisi batang kendali dan daerah teras yang tidak ditempati bahan bakar. Kanal 2 mewakili 6 buah kanal berbahan bakar pada ring B dengan fluks merata. Kanal 3 mewakili 12 buah kanal berbahan bakar pada ring C dengan fluks merata. Kanal 4 mewakili 13 buah kanal berbahan bakar pada ring D dengan fluks merata, Kanal 5 mewakili 24 buah kanal berbahan bakar pada ring E dengan fluks merata. Kanal 6 mewakili 30 buah kanal berbahan bakar pada ring F dengan fluks merata, dan Kanal 7 mewakili 36 buah kanal berbahan

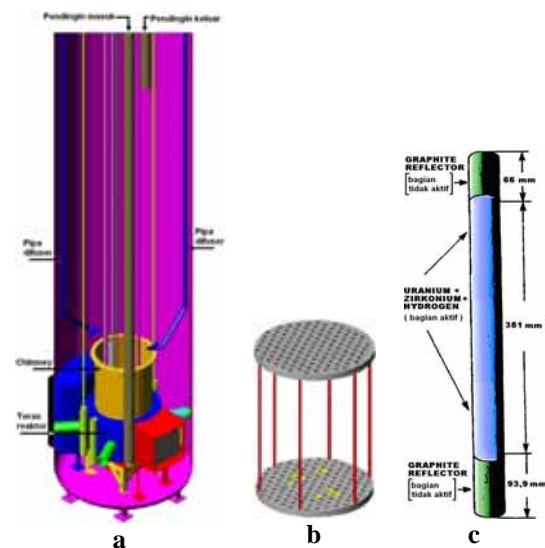
bakar pada ring G dengan fluks merata. Adapun susunan teras yang digunakan pada analisis ini adalah susunan teras dengan 116 bahan bakar.

Simulasi transien kehilangan aliran air pendingin sekunder ini ditekankan untuk mengamati kenaikan suhu sebagai fungsi waktu setelah terjadinya transien di beberapa titik penting di dalam sistem reaktor, seperti: keluaran dari alat penukar panas pada sisi pendingin primer, suhu masukan ke dalam teras reaktor, dan titik terpanas di dalam teras reaktor.

Pada dasarnya kegiatan ini merupakan rangkaian penelitian peningkatan keselamatan dan pendayagunaan reaktor TRIGA 2000 Bandung, untuk memperoleh kondisi operasi reaktor yang aman, selamat dan berdayaguna.

## 2. DESKRIPSI REAKTOR TRIGA 2000

Reaktor TRIGA 2000 Bandung merupakan reaktor penelitian bertipe tangki (*tank type*) (Gambar 1a). Reaktor ini mempunyai 121 buah lubang kisi (*grid*) (Gambar 1b) sebagai rak untuk menyusun elemen bahan bakar di dalam teras reaktor dengan pola susunan heksagonal.



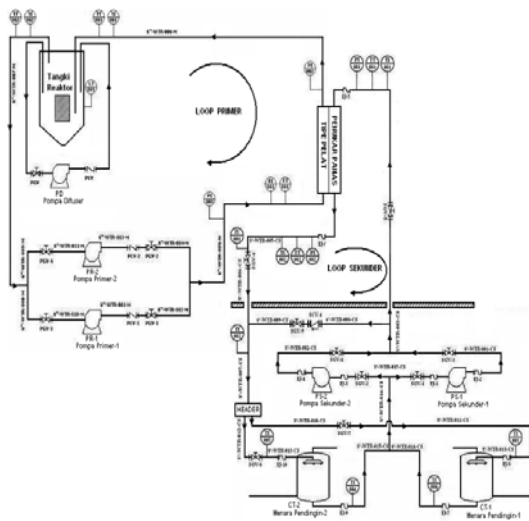
Gambar 1. Tangki reaktor , *grid plat*, bahan bakar

Teras reaktor yang berisi elemen bahan bakar direndam dalam tangki reaktor menggunakan air ringan. Air ini selain berfungsi sebagai moderator juga berfungsi sebagai pendingin primer untuk mengambil kalor hasil reaksi fisi yang terjadi di dalam teras reaktor.

Elemen bahan bakar reaktor TRIGA 2000 Bandung berbentuk batang silinder (Gambar

1c), terbuat dari paduan uranium dan zirconium hibrida yang dibungkus kelongsong baja tahan karat SS-304.

Sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 Bandung terdiri dari: tangki reaktor, sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder (Gambar 2). Tangki reaktor berdiameter luar 1,981 meter, tinggi 7,55 m dan diisi dengan air ringan sampai ketinggian 7,35 m. Sistem pendingin primer terdiri dari, dua buah pompa sentrifugal untuk mengalirkan air pendingin keluar dan masuk tangki reaktor (dalam keadaan normal digunakan satu pompa), alat penukar kalor tipe pelat untuk memindahkan kalor dari sistem primer ke sistem sekunder serta beberapa katup untuk mengatur aliran dalam pemipaan sistem primer. Sistem pendingin sekunder terdiri atas dua buah menara pendingin, dua buah pompa sentrifugal untuk mengalirkan air pendingin keluar dan masuk menara pendingin (dalam keadaan normal digunakan satu pompa), alat penukar kalor tipe pelat untuk memindahkan kalor dari sistem primer ke sistem sekunder serta beberapa katup untuk mengatur aliran dalam pemipaan sistem sekunder.



Gambar 2. Sistem pendingin reaktor TRIGA 2000

Reaktor TRIGA 2000 Bandung dilengkapi dengan sistem diffuser untuk membelokkan sebagian arah aliran air pendingin yang keluar dari teras reaktor, sehingga memperpanjang waktu tempuh air pendingin menuju permukaan tangki dan memperlambat perjalanan N-16 yang mengikuti aliran air pendingin dari permukaan teras ke permukaan air tangki. Hal ini akan mengurangi aktivitas N-16 dipermukaan air

tangki, karena sebagian N-16 akan meluruh sebelum mencapai permukaan tangki. Sistem diffuser terdiri dari pompa, sistem pemipaan, katup-katup dan *nozzle*. *Nozzle* ditempatkan di atas teras reaktor.

Secara garis besar proses termohidrolis pada reaktor TRIGA 2000 dimulai dengan perpindahan kalor hasil fisi di dalam elemen bahan bakar ke air pendingin primer yang terjadi di dalam teras reaktor secara konveksi alamiah. Kalor yang pindah ke air pendingin primer, selanjutnya dibawa melalui sistem pendingin primer ke penukar kalor untuk dipindahkan ke air pendingin sekunder. Perpindahan kalor yang terjadi di dalam penukar kalor ini berlangsung secara konveksi paksa. Kalor yang pindah ke air pendingin sekunder, selanjutnya dibawa melalui sistem pendingin sekunder ke menara pendingin untuk dibuang ke lingkungan. Pembuangan kalor ke lingkungan melalui menara pendingin berlangsung secara konveksi paksa.

### 3. DESKRIPSI PROGRAM RELAP5/MOD 3.2

Kajian ini dilakukan dengan menggunakan program komputer RELAP5/MOD3.2 yang merupakan hasil pengembangan beberapa generasi dari paket program komputer *RELAP (Reactor Excursion and Leak Analysis Program)*[1]. Prinsip kerja program komputer RELAP5/MOD3.2 adalah menggunakan model hidrodinamika dua zat cair (*two fluid model*) yang bekerja dalam 5 (lima) persamaan dasar yaitu 2 (dua) persamaan kontinuitas massa (untuk uap dan air), 2 (dua) persamaan momentum (untuk uap dan air) dan 1 (satu) persamaan energi total. Pada model ini hanya dibutuhkan dua persamaan konstitutif pada batas uap dan air, yaitu persamaan gesekan (*interphase drag*) dan persamaan pertukaran massa (*interphase mass exchange*). Variabel dasar yang digunakan program komputer RELAP5/MOD3.2 adalah kerapatan fasa uap dan cair ( $\rho$ ), kualitas uap ( $\chi$ ), energi dalam fasa campuran ( $U$ ) dan kecepatan alir fasa uap dan fasa cair masing-masing adalah  $v_v$  dan  $v_l$ . Sedangkan operasi dasar matematika yang digunakan untuk perhitungan numerik adalah penjumlahan dan pengurangan dari masing-masing persamaan fasa cair dan fasa uap. Perhitungan yang dilakukan pada RELAP5/MOD3.2 adalah memodelkan sistem hidrodinamika dengan model satu dimensi, transien, dengan aliran dua fasa air-uap yang dapat mengandung gas lain yang tak

terkondensasi.

Adapun bentuk persamaan dasar kekekalan massa, momentum dan energi yang digunakan RELAP5/MOD3.2 adalah sebagai berikut.

Persamaan Kekekalan Massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial z} (\alpha_v \rho_v v_v + \alpha_l \rho_l v_l) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \chi}{\partial t} + \frac{(1-\chi)}{A} \left( \frac{\partial (\alpha_v \rho_v v_v A)}{\partial z} \right) - \frac{\chi}{A} \left( \frac{\partial (\alpha_l \rho_l v_l A)}{\partial z} \right) = \Gamma_v \quad (2)$$

Persamaan Kekekalan Momentum

$$\alpha_v \rho_v \frac{\partial v_v}{\partial t} + \alpha_l \rho_l \frac{\partial v_l}{\partial t} + \frac{1}{2} \alpha_v \rho_v \frac{\partial v_v^2}{\partial z} + \frac{1}{2} \alpha_l \rho_l \frac{\partial v_l^2}{\partial z} = \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z - \alpha_v \rho_v v_v FWG - \alpha_l \rho_l v_l FWL - \Gamma_v (v_v - v_l)$$

$$\frac{\partial v_v}{\partial t} + \frac{\partial v_l}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial v_v^2}{\partial z} - \frac{1}{2} \frac{\partial v_l^2}{\partial z} = \left( \frac{1}{\rho_v} - \frac{1}{\rho_l} \right) \frac{\partial P}{\partial z} - \quad (4)$$

$$v_v FWG + v_l FWL + \Gamma_v \frac{\rho v_l - (\alpha_v \rho_v v_v + \alpha_l \rho_l v_l)}{\alpha_v \rho_v \alpha_l \rho_l} -$$

$$\rho FI (v_v - v_l) - C \frac{\rho^2}{\rho_v \rho_l} \left[ \frac{\partial (v_v - v_l)}{\partial t} + v_l \frac{\partial v_v}{\partial z} - v_v \frac{\partial v_l}{\partial z} \right]$$

Persamaan Kekekalan Energi

$$\begin{aligned} & \frac{\partial (\rho U)}{\partial t} + \left( \frac{1}{A} \right) \frac{\partial (\alpha_v \rho_v e_v v_v A + \alpha_l \rho_l e_l v_l A)}{\partial z} = \\ & - \left( \frac{P}{A} \right) \frac{\partial (\alpha_v v_v A + \alpha_l v_l A)}{\partial z} + \alpha_v \rho_v FWG v_v^2 + \alpha_l \rho_l FWL v_l^2 + \\ & \alpha_v \alpha_l \rho_v \rho_l FI (v_v - v_l)^2 + \frac{1}{2} |\Gamma_v| (v_v - v_l)^2 + Q \end{aligned} \quad (5)$$

dimana;

- $\Gamma$  = faktor pembentukan
- $\chi$  = kualitas uap
- $\rho$  = kerapatan fasa
- $\alpha$  = difusivitas termal
- $P$  = vektor dari tekanan di seluruh sel
- $Q$  = fluks kalor
- $V_i$  = volume atur sel ke-i
- $z$  = aksis arah aliran
- $v$  = kecepatan aliran fasa
- $e_i$  =  $U + (v_i)^2$

Indeks v dan l = masing-masing menunjukkan *vapour* (uap) dan *liquid* (cair), FWG dan FWL = *wall friction drag* untuk uap dan air yang merupakan fungsi linier terhadap kecepatan dan

merupakan hasil perkalian dari koefisien friksi, luasan friksi per unit volume dan besar kecepatan fluida.  $F1 = interphase\ frictional\ drag$ , merupakan fungsi linier terhadap kecepatan dan merupakan hasil perkalian dari koefisien friksi, luasan friksi per unit volume dan besar kecepatan fluida

Pada RELAP5/MOD3.2 sistem hidrodinamik dimodelkan dengan komponen-komponen yang dapat menyimulasikan sistem secara keseluruhan. Model-model tersebut antara lain pompa, katup, pipa, struktur pelepasan maupun penyerapan energi kalor, kinetika reaktor, pemanas listrik, pompa jet, turbin, separator, akumulator dan komponen sistem kontrol. Komponen ini berisi data-data fisis komponen sebenarnya, yaitu geometri dan data fluida di dalamnya. Komponen-komponen terdiri dari satu atau lebih volume yang dihubungkan dengan penghubung (*junction*) yang berisi data aliran fluida. Daerah perpindahan panas dimodelkan dengan struktur panas yang berisi data geometri dan sifat-sifat fisik bahan. Selain itu terdapat model proses khusus seperti *form loss*, aliran pada perubahan luas penampang secara mendadak, percabangan, *choked flow*, *boron tracking* dan perpindahan gas tak terkondensasi.

#### 4. METODOLOGI DAN TATA KERJA

Analisis dilakukan menggunakan program komputer RELAP5/MOD3.2. Adapun prosedur kerja yang dilakukan dalam kegiatan ini adalah:

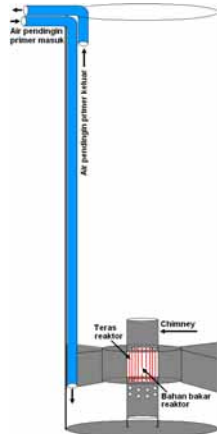
1. Membuat model sistem TRIGA 2000 Bandung.
2. Menyusun *input deck* berdasarkan model yang dibuat.
3. Eksekusi program untuk kondisi tunak sampai dicapai hasil konvergen.
4. Perbandingan hasil perhitungan tunak dengan spesifikasi operasi reaktor atau hasil perhitungan dari program lain.
5. Melengkapi *input deck* untuk kondisi transien dan eksekusi program.
6. Eksekusi program untuk kondisi transien sampai dicapai hasil konvergen.

##### 4.1. Pemodelan Reaktor TRIGA 2000 Bandung dengan RELAP5/MOD3.2

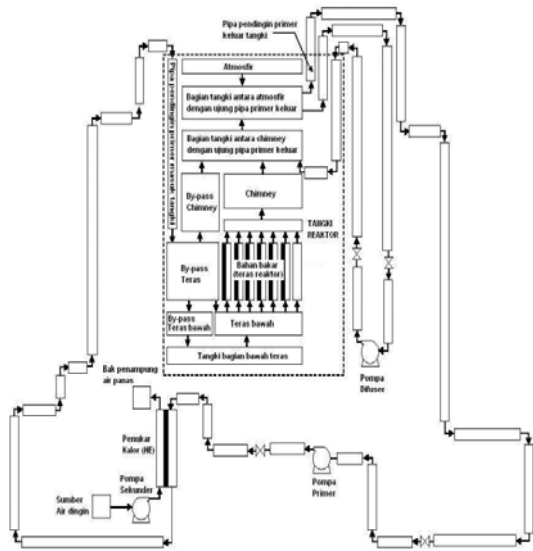
Tangki reaktor TRIGA 2000 Bandung dan komponennya dimodelkan berdasarkan bentuk pendekatan seperti yang ditunjukkan Gambar 3.

Pemodelan tangki dimulai dengan pembuatan nodal komponen-komponen reaktor.

Pada dasarnya pemodelan komponen dibuat dengan mengacu pada komponen yang sebenarnya dalam arti ukuran diameter untuk pipa, panjang/ketinggian pipa, jenis-jenis katup, posisi percabangan, jenis pompa dan lain-lain. Untuk itu diperlukan data geometri sistem dan gambar isometri pemipaan.



Gambar 3. Bentuk pendekatan tangki reaktor dan komponennya



Gambar 4. Model dan nodalisasi sistem reaktor TRIGA 2000 Bandung

Gambar 4 memperlihatkan pemodelan dan nodalisasi sistem reaktor TRIGA 2000 Bandung. Pada pemodelan tangki, *volume* dan *pipe* digunakan untuk memodelkan bagian tangki, pipa dan saluran yang berisi fluida. *Junction*

untuk memodelkan hubungan antar aliran, batas aliran, batas volume, sistem belokan, perubahan area. *Branch* untuk memodelkan percabangan aliran. Secara garis besar komponen tangki reaktor digambarkan atas beberapa volume dan *branch*, yaitu tangki bagian bawah teras, teras bagian bawah, *by-pass* teras bagian bawah, teras reaktor yang berisi bahan bakar, *by-pass* teras reaktor, plenum atas teras, *chimney*, *by-pass chimney*, volume pencampuran antara chimney dengan ujung pipa primer keluar tangki, volume antara ujung pipa primer keluar tangki dengan permukaan air tangki. Untuk daerah atmosfer di atas air permukaan tangki dimodelkan sebagai *Time Dependent Volume*.

Pada nodalisasi tangki reaktor, aliran air dari pipa pendingin masuk ke tangki reaktor melalui *by-pass* teras. Pada *by-pass* teras aliran terbagi tiga, sebagian menuju *by-pass chimney*, sebagian menuju *by-pass* teras bawah dan sebagiannya lagi menuju teras bawah. Aliran dari *by-pass* teras bawah akan masuk ke tangki bagian bawah teras dan kemudian bercampur kembali dengan air yang masuk ke teras bawah melalui *by-pass* teras. Aliran dari teras bawah akan masuk ke teras melalui 7 kanal pemanas. Aliran dari teras akan masuk ke *chimney*. Aliran dari *chimney* akan bercampur di daerah volume pencampuran dengan aliran dari *by-pass chimney* dan aliran dari diffuser. Aliran dari daerah volume pencampuran selain dihisap oleh pipa primer untuk masuk ke sistem pemipaan primer, juga dihisap oleh pompa diffuser untuk masuk ke sistem diffuser.

Nodalisasi sistem pemipaan sisi primer dimodelkan dalam bentuk *pipe* untuk pipa-pipa, *Junction* untuk sambungan, *Valve* untuk katup dan *Time Dependent Volume* untuk pompa pendingin primer.

Nodalisasi sistem pemipaan sisi sekunder dimodelkan sebagai suatu untai terbuka dari sebuah sumber air dingin dan penampungan air panas dengan suatu laju alir, tekanan serta suhu masukan yang konstan, dalam RELAP5/MOD3.2 hal ini dinyatakan sebagai model *Time Dependent Junction*. Model dalam bentuk *pipe* untuk pipa-pipa, *Junction* untuk sambungan, *Valve* untuk katup dan *Time Dependent Volume* untuk pompa pendingin sekunder yang mengalami kehilangan laju alir pendingin (*loss of flow*) karena putusnya catu daya listrik penggerak motor pompa.

Mekanisme perpindahan panas pada alat penukar kalor dimodelkan sebagai tabung silinder dengan fluida suhu lebih panas mengalir pada sisi luar, sedangkan pada sisi bagian dalam mengalir fluida dengan suhu lebih dingin. Data

kapasitas panas volumetrik dan konduktivitas material pembuat alat penukar kalor diberikan sebagai masukan dalam bentuk tabel sebagai fungsi dari suhu .

Nodalisasi teras reaktor dimodelkan dengan 7 *pipe* yang merepresentasikan 7 kanal, yaitu 1 kanal dingin dan 6 kanal panas. Kanal 1 (kanal dingin) mewakili daerah yang di dalamnya tidak terjadi pembangkitan panas, seperti posisi ring A tanpa bahan bakar, grid yang berisi grafit (*dummy*), grid yang berisi batang kendali dan daerah teras yang tidak ditempati bahan bakar. Kanal 2 mewakili 6 buah kanal berbahan bakar pada ring B dengan fluks merata. Kanal 3 mewakili 12 buah kanal berbahan bakar pada ring C dengan fluks merata. Kanal 4 mewakili 13 buah kanal berbahan bakar pada ring D dengan fluks merata, Kanal 5 mewakili 24 buah kanal berbahan bakar pada ring E dengan fluks merata. Kanal 6 mewakili 30 buah kanal berbahan bakar pada ring F dengan fluks merata, dan Kanal 7 mewakili 36 buah kanal berbahan bakar pada ring G dengan fluks merata. Adapun susunan teras yang digunakan pada analisis ini adalah susunan teras dengan 116 bahan bakar.

#### 4.2. Urutan Kejadian

Kondisi transien sistem pendingin sekunder diasumsikan terjadi karena motor penggerak pompa sekunder kehilangan catu daya, sehingga gagal berfungsi. Sebagai akibat dari kejadian ini aliran air pendingin sekunder segera terhenti dan diasumsikan tidak terjadi *coast down flow*.

Tidak berfungsinya sistem pendingin sekunder menyebabkan tidak terjadinya proses perpindahan kalor dari air pendingin primer ke air pendingin sekunder, sehingga akan menaikkan suhu air pendingin primer keluar tangki reaktor, termasuk pula suhu air pendingin di teras reaktor. Kenaikan suhu air pendingin di teras reaktor akan mempengaruhi pembuangan panas dari teras reaktor.

Suhu air pendingin primer keluar tangki reaktor dipantau dengan sistem proteksi reaktor. Dalam hal transien terproteksi, jika suhu yang dipantau melebihi suatu batas yang telah ditentukan yaitu 49°C, maka sistem proteksi reaktor akan membuat reaktor *scram*. [3]

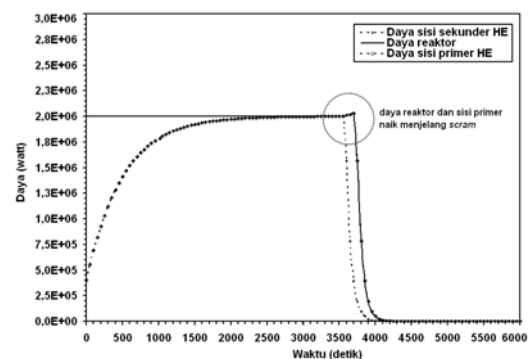
Simulasi transien kegagalan sistem pendingin sekunder ini ditekankan untuk mengamati kenaikan suhu di beberapa titik penting di dalam sistem reaktor sebagai fungsi waktu setelah terjadinya transien tersebut. Titik-titik tersebut adalah keluaran dari tangki reaktor, suhu masukan ke dalam teras reaktor, serta titik-titik di dalam kanal teras reaktor.

#### 5. ASUMSI DAN KONDISI BATAS

Pada penelitian ini diberikan beberapa kondisi batas, yaitu: analisis dilakukan pada daya maksimal 2000 kW sesuai dengan daya rancangan, suhu saturasi pada teras reaktornya sekitar 112,4°C [3], data distribusi daya pada teras reaktor diperoleh dari hasil perhitungan neutronik yang telah dilakukan pada penelitian lain yang menempatkan 116 elemen bahan bakar di dalam teras reaktor [4], suhu pendingin masuk tangki reaktor berdasarkan suhu rancangan 32°C, kecepatan aliran pendingin yang masuk tangki reaktor melalui pipa pendingin primer berdasarkan rancangan 2,8 m/s [3].

Selain itu perlu dinyatakan beberapa asumsi, yaitu: fluks panas terdistribusi merata sepanjang bahan bakar aktif, *coast down flow* pada pompa sekunder diabaikan.

#### 6. HASIL DAN PEMBAHASAN

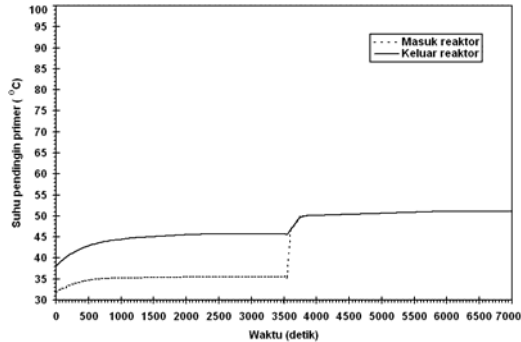


Gambar 5. Daya reaktor pada kondisi tunak dan transien

Gambar 5 memberikan informasi tentang daya reaktor. Awal kondisi tunak tercapai setelah 2500 detik dari reaktor mulai beroperasi pada daya 2000 kW. Hal ini ditandai dengan tercapai kondisi daya yang sama antara daya reaktor, daya sisi primer HE dan daya sisi sekunder HE. Setelah reaktor beroperasi selama 3600 detik, mulai terjadi kondisi transien karena pompa sekunder kehilangan catu daya, sehingga daya pada sisi sekunder HE turun tajam karena tidak adanya perpindahan panas dari sisi primer ke sisi sekunder. Tidak adanya pembuangan panas dari air pendingin primer ini mengakibatkan suhu air kolam reaktor meningkat. 150 detik setelah terjadinya kegagalan pompa sekunder, suhu air kolam reaktor pada bagian keluaran



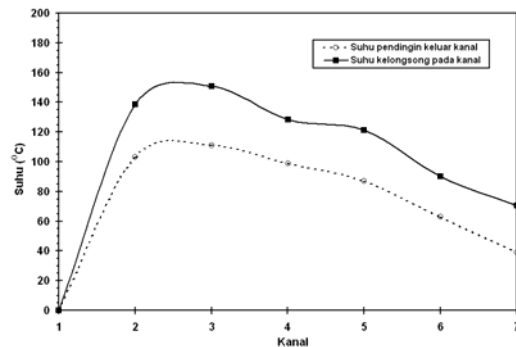
naik mencapai 49°C dan mengakibatkan reaktor *scram*. Setelah reaktor *scram*, daya reaktor turun tajam dan hanya meninggalkan panas sisa peluruhan.



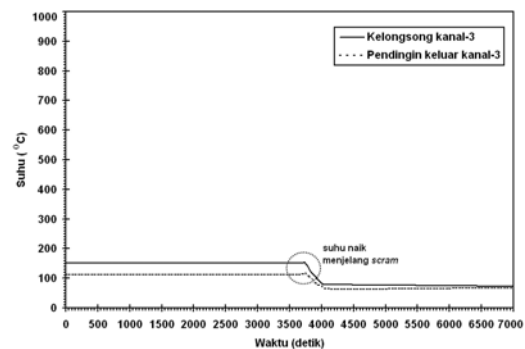
**Gambar 6.** Suhu pendingin primer masuk dan keluar reaktor pada kondisi tunak dan transien

Gambar 6 menunjukkan awal kondisi stabil pendingin primer masuk dan keluar reaktor tercapai setelah 2500 detik dari reaktor mulai beroperasi 2000 kW. Pada kondisi stabil suhu masuk reaktor 35,52°C dan suhu keluar reaktor 45,75°C. Setelah beroperasi selama 3600 detik pompa sekunder kehilangan catu daya, sehingga tidak terjadi perpindahan panas dari pendingin primer ke pendingin sekunder dan suhu pendingin primer masuk reaktor sama dengan suhu pendingin primer keluar reaktor. Meskipun pompa sekunder kehilangan catu daya tetapi reaksi fisi terus berlangsung di dalam teras sehingga suhu kolam reaktor naik, begitu juga suhu masuk dan keluar reaktor. Pada saat suhu keluar reaktor mencapai 49°C, yaitu kira-kira 150 detik setelah pompa sekunder kehilangan catu daya reaktor *scram*. Setelah reaktor *scram*, suhu keluar dan suhu masuk reaktor terus mengalami kenaikan mencapai 53,15°C yang berasal dari panas sisa peluruhan hingga 7000 detik sesuai dengan waktu perhitungan yang digunakan.

Gambar 7 memberikan informasi bahwa suhu maksimum kelongsong bahan bakar 150,63°C dan suhu pendingin keluar kanal 111,36°C, yaitu pada kanal 3. Suhu ini sudah melebihi suhu saturasi air pendingin reaktor 112,4°C, sehingga pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*) diprediksi sudah mungkin terjadi. Keadaan ini bersesuaian dengan kondisi yang terjadi dalam pengoperasian reaktor TRIGA 2000 pada daya 2000 kW teramati adanya gelembung yang keluar dari dalam teras reaktor.



**Gambar 7.** Distribusi suhu kelongsong dan pendingin arah radial pada kondisi tunak



**Gambar 8.** Suhu kelongsong bahan bakar kanal 3 dan suhu pendingin keluar kanal 3 pada kondisi tunak dan transien

Gambar 8 menunjukkan suhu kelongsong dan suhu keluar kanal 3 (terpanas). Pada kondisi tunak diperoleh suhu kelongsong kanal terpanas adalah 150,63°C dan suhu pendingin keluar kanal terpanas adalah 111,36°C. Ketika terjadi kegagalan pompa sekunder pada 3600 detik waktu perhitungan, suhu kelongsong kanal terpanas dan suhu pendingin keluar kanal terpanas mengalami kenaikan hingga mencapai 159,78°C dan 115,86°C selama 150 detik menjelang *scram*. Hal ini terjadi karena tidak adanya pembuangan panas dari air pendingin primer dan mengakibatkan suhu air kolam reaktor dan suhu kelongsong kanal terpanas naik. Setelah reaktor *scram*, suhu kelongsong kanal terpanas dan suhu pendingin keluar kanal terpanas turun akibat penurunan daya reaktor.

## 7. KESIMPULAN

Analisis pengaruh kehilangan air pendingin sekunder terhadap parameter parameter termohidrolik teras reaktor TRIGA 2000

Bandung telah dilakukan menggunakan program RELAP5/MOD 3.2 untuk kondisi tunak pada daya 2000 kW dan perhitungan transien selama 7000 detik.

Hasil perhitungan dalam kondisi tunak diperoleh awal kondisi tunak tercapai setelah 2500 detik dari reaktor mulai beroperasi pada daya 2000 kW, suhu kelongsong kanal terpanas adalah 150,63°C, suhu pendingin keluar kanal terpanas adalah 111,36°C, suhu masuk reaktor 35,52°C, dan suhu keluar reaktor 45,75°C .

Hasil perhitungan transien memperlihatkan, sebelum terjadi *scram* suhu kelongsong kanal terpanas 159,78°C dan suhu pendingin keluar kanal terpanas 115,86°C.

Kondisi *scram* dicapai setelah 150 detik dari terjadinya kegagalan pompa sekunder.

Setelah *scram* terjadi, suhu pendingin keluar dan suhu pendingin masuk reaktor terus mengalami kenaikan mencapai 53,15°C yang berasal dari panas sisa peluruhan.

## 8. DAFTAR PUSTAKA

1. **RELAP5 Code Development Team**, “RELAP5/MOD3.2 Code Manual, User Guide and Input Requirements, NUREG/CR-5535-V2”, Idaho National Engineering Laboratory, Washington DC (1955).
2. **ANHAR, R.A.**, Preparasi Input RELAP5, Diklat Komputer RELAP5 Code, BAPETEN 20 – 31 Oktober 2003, Jakarta (2003).
3. **PUSAT TEKNOLOGI NUKLIR BAHAN DAN RADIOMETRI**, Laporan Analisis Keselamatan Reaktor TRIGA 2000 Bandung, LP-06 RE-001, Rev. 3 (2006).
4. **ALFA, T.**, Perhitungan distribusi neutron dan daya pada reaktor TRIGA 2 MW menggunakan program WIMS-D/4 dan citation (Prosiding Seminar Sains dan Teknologi Nuklir, Bandung), Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir, BATAN, Bandung (2000).

**Ke DAFTAR ISI**